

ИССЛЕДОВАНИЕ МАССООБМЕНА ЛИТЕЙНОГО ПЕСКА В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ ЦИКЛОНЕ

Афанасьева М.А., Ельцова И.В., Рязанова Е.А., Сорокина Е.А., Шериев А.Р.,
Забил Р.В., Корабельникова Д.А., Худякова Т.А., Якимова И.В., Замураев А.Е.
УрФУ

На кафедре ОАСП проводится лабораторный практикум [1] для студентов, причём ряд работ проводятся на установках, в которых моделируются процессы производства строительных материалов и энергосберегающие технологии. Группой студентов МТ-531601 были проведены исследования массообмена при сушке литейного песка в прямоточном горизонтальном циклоне. Ранее такие исследования проводились в вертикальном циклоне [2].

Исследования проводились на лабораторном стенде рис. 1.

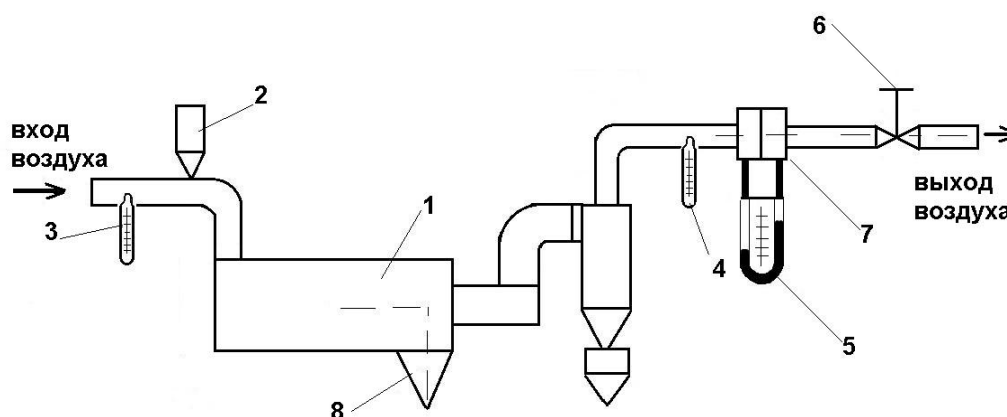


Рис. 1. Схема установки для испытания циклона:

1 – циклон; 2 – загрузочное устройство; 3,4 – термометры; 5 – U-образный манометр;
6 – вентиль; 7 – диафрагма; 8 – разгрузочное устройство

Внутренний диаметр циклона равен 100 мм. Входной патрубок имеет размеры 76×32 мм. Во входной трубопровод перед циклоном 1 поступает горячий воздух. Циклон соединен с водокольцевым вакуум-насосом ВВН-12 выходным трубопроводом. В качестве измерительного прибора используется U-образный манометр 5, подключенный к диафрагме 7, для определения расхода воздуха. Расход воздуха регулируется вентилем 6.

Влажный песок поступает во входной трубопровод циклона из загрузочного устройства 2, далее песок проходит через циклон и улавливается в бункере 8. Подсушенный материал из бункера циклона взвешивался на весах и высушивался.

Значения расхода, скорости потока и концентрации материала в воздухе представлены в табл. 1.

Таблица 1

Значения расхода и скорости воздуха в циклоне, концентрации материала

Поз.	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$W_{\text{пл}}, \text{ м/с}$	$W_{\text{вх. патр.}}, \text{ м/с}$	$\mu, \text{ кг/м}^3$
3	0,023562	3,0	9,688	0,1413
4	0,031416	4,0	12,918	0,1060
5	0,03927	5,0	16,147	0,0848
6	0,047124	6,0	19,377	0,0707

Результаты исследований сведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты измерений влажности песка от 21.11.2012 г. при $P_{\text{бар}} = 100,0$ кПа

Поз.	Расход воздуха $Q, \text{ м}^3/\text{с} / W_{\text{п}}, \text{ м/с}$	$G_{\text{вл}}, \text{ г}$	$G_{\text{сух}}, \text{ г}$	$G_{\text{выс}}, \text{ г}$	$G_{\text{прок}}, \text{ г}$	Показания термометров $t, ^\circ\text{C}$		Содержание влаги в шпате на абсолютно сухое вещество				На выходе $W_{\text{ср}}, \text{ \%}/\text{г}$
						на входе	на выходе	на входе $W, \text{ г}$	на входе $W, \text{ г}$	на выходе $W, \text{ г}$	на выходе $W, \text{ \%}$	
1	0,023562/3,0	110,0	100,0	33,3	33,2	75	65	10,0	10,0	0,1	0,301	0,517/ 0,167
2	0,023562/3,0	110,0	100,0	74,5	74,2	70	60	10,0	10,0	0,3	0,404	
3	0,023562/3,0	110,0	100,0	11,9	11,8	70	60	10,0	10,0	0,1	0,847	
4	0,031416/4,0	110,0	100,0	38,1	37,8	65	55	10,0	10,0	0,3	0,794	1,179/ 0,3
5	0,031416/4,0	110,0	100,0	19,5	19,2	65	55	10,0	10,0	0,3	1,563	
6	0,031416/4,0	110,0	100,0	0,7	0,7	65	55	10,0	10,0	-	-	
7	0,03925/5,0	110,0	100,0	100,8	100,7	57	47	10,0	10,0	0,1	-	1,653/ 1,5
8	0,03925/5,0	110,0	100,0	108,3	106,7	55	45	10,0	10,0	1,6	1,50	
9	0,03925/5,0	110,0	100,0	78,9	77,5	55	45	10,0	10,0	1,4	1,806	
10	0,047124/6,0	110,0	100,0	139,7	138,3	57	49	10,0	10,0	1,4	1,012	1,633/ 1,267
11	0,047124/6,0	110,0	100,0	50,6	49,3	57	49	10,0	10,0	1,3	2,637	
12	0,047124/6,0	110,0	100,0	89,0	87,9	57	49	10,0	10,0	1,1	1,251	

Определен гранулометрический состав песка. Средний диаметр частиц $d_{\text{ср}}$ равен $0,276 \cdot 10^{-3}$ м. Число частиц материала, проходящего через циклон за 1 с, равно 209341. Они дают общую площадь поверхности, равную $0,0501 \text{ м}^2$.

Выполнен расчёт коэффициентов массоотдачи и значений диффузионного критерия Nu' в критериальном уравнении массообмена.

Коэффициент массоотдачи равен:

$$\beta = \frac{G_{\text{н}}(W_{\text{н}} - W_{\text{к}})}{F_{\text{м}}(x_{\text{нас}} - x)\rho_{\text{с.в.}}}, \text{ м/с.}$$

Значения $P_{\text{п. нас.}}$ и $P_{\text{п.}}$ рассчитывались, значения $x_{\text{нас}}$, x находятся по диаграмме Рамзина.

Критерий Нуссельта

$$Nu_D = \frac{\beta \cdot d_3}{D},$$

где β - коэффициент массоотдачи, м/с; d_3 - эквивалентный диаметр частиц высушиваемого материала, м; D - коэффициент диффузии, м²/с;

$$D = D_0 \cdot \frac{P_0}{P_{\text{бар}}} \cdot \left(\frac{T}{T_0} \right)^{3/2}.$$

Критериальное уравнение конвективного массообмена [3]:

$$Nu' = 2 + A_1 Re^{n_1} (Pr')^{0,33} Gu^{0,135}.$$

Результаты расчётов представлены табл. 3.

Таблица 3

Результаты расчётов

Поз.	$W_{\text{пл}}$, м/с	$W_{\text{н}}^3$, кг	$W_{\text{к}} \cdot 10^3$, кг	β , м/с	$D \cdot 10^6$, м ² /с	Nu'
1	3,0	0,1	0,167	0,0489	28,97	0,466
2	4,0	0,1	0,3	0,0425	29,894	0,393
3	5,0	0,1	1,5	0,0465	28,65	0,448
4	6,0	0,1	1,267	0,0333	30,80	0,299

Выводы:

1. Количество влаги в песке в процессе сушки в прямоточном циклоне при одном проходе через циклон уменьшается в 6...9 раз и не превышает 1,633 % при начальной влажности, равной 10,0 %.

2. Коэффициенты массоотдачи β при сушке влажного материала в одном циклоне уменьшаются при увеличении $W_{\text{пл}}$.

3. Необходимо повысить температуру сушильного агента, так как на входе в циклон она не превышала 75 °С.

Исследования показали, что возможно дополнительно сушить влажный песок низкопотенциальным теплом дымовых газов производства строительных материалов.

Библиографический список

1. Замураев А.Е., Зимин А.И., Катаев А.В., Давыдов С.Я. Активизация процесса обучения при выполнении лабораторного практикума // Активные методы обучения и объективизация контроля студентов. Екатеринбург: УПИ, 1999. С. 13.
2. Захаров А.Ю., Фоминых К.В., Замураев А.Е., Шишкин С.Ф., Дзюзер В.Я. Исследования по сушке полевого шпата // Энерго- и ресурсосбережение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Сб. материалов Всероссийской студенческой олимпиады 16-19 ноября 2009 г., научно-практической конференции и выставки студентов, аспирантов и молодых ученых. 14-18 декабря 2009 г. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2009. С. 93-96.
3. Муштаев В.И. [и др.] Сушка в условиях пневмотранспорта. М.: Химия. 1984. 232 с.